

16134

光



學

(增訂本)

621/ATL4.2
乙酉學社叢書第一集

光 學

OPTICS

VOLUME IV
OF
A TEXTBOOK OF PHYSICS
BY

E. GRIMSEHL
EDITED BY

R. TOMASCHEK

葉蘊理譯著

附

物理光學理論

中華書局出版

本書內容提要

本書為德國物理學權威 Grimschl 之名著 A Textbook of Physics 第四冊之譯本，內容包括測光術、幾何光學、物理光學、大氣光學及生理光學等。測光術敘述光強單位及各種光度計之原理與應用；幾何光學敘述鏡及透鏡之反射及折射之原理與應用；物理光學分述色散、干涉、衍射、偏振及雙折射等各種作用；大氣光學說明大氣中之折射、漫射以及霓暈、虹霓等現象；生理光學說明各種視覺特性及幻覺等。又因物理光學方面理論較略，故增加「物理光學理論」四章，分別解釋干涉現象之理論、衍射現象之理論、偏振理論、光波在媒質中傳播之理論等，以臻完善。

德文再版序

本冊關於光學所討論之部分爲光之傳播；如遇需用光之發射論方可說明，而不能用任何連續理論說明者，則詳見第五冊中¹。此處所敘諸問題，務使第三冊中²電磁波之討論成爲自然之連繫。在主要部分，本書曾利用前版之材料；但既已研討電磁波，此事現又促使吾人對於敘述程序略加變更，並且到處對於波動理論特別着重，蓋據吾人長久之教學經驗，認爲此實必需者也。所用材料在許多地方，已存在者則擴充之，新穎者則補充之，例如光度計學、色散、成像之波動論、X-射線之光學理論、分光儀之鑑別本領、Kerr 效應以及光速之測定等。

R. Tomaschek.

中文再版序

本書內容以幾何光學與物理光學爲主，前者敘述頗詳，後者理論較略。揣著者之原意，蓋在避免高深之理論，使初學者務必先學習察視光學之基本事實而把握其物理上之基本意義。有此基礎始可進一步研討光學之理論，而不致誤爲數學抽象之結果。質言之，根據此種實踐之基礎，再進入高深理論，此理論方不致失諸空洞。職是之故，在此再版中加入拙作物理光學理論四章，以便讀者可由原書之基礎更進一步認識光之干涉、衍射及偏振諸現象。年來我國科學水準逐漸提高，而大專校中文教材要求迫切，希望吾人之工作或有助焉。

葉蘊理

一九五二年二月，江灣。

1. 原子物理學，王福山譯。 2. 電磁學，史鍾奇譯。

譯者序言

凡曾讀普通物理學者，對於光學一道輒有忽視之概。一般作者均偏重於幾何光學。於是以直線代表光線，求其經過各種介質之折射定律，遂將幾何光學變為一幾何問題，換言之，變成一數學問題，此對於初學者實頗乏味也。其實幾何光學所討論諸現象自有其興趣濃厚之處。至於干涉、衍射、色散現象等，均屬有趣而重要之事實，但惜在一般淺近書中均未能與以適當之地位，或語焉不詳，使初學者模糊過去，甚至引起誤解，於是光學之重要性及其價值，對於初學者反被隱蔽。

迨專治光學，則終因其諸多有趣現象似均為實驗室之現象，不知其實用，苟欲深究其理，則又錯綜複雜，使學者望而却步。諸如此種情形，實為一憾事，又豈 Newton, Fresnel, Helmholtz 輩所可預料者耶。本世紀光學中又增加 Bohr 之光譜論，Einstein 之相對論，甚至晚近原子核以及宇宙線中諸輻射問題，又何非光學問題。故吾人如謂近代物理實乃一部光學，或非過語。要知光學實乃理論上最抽象而事實上亦最綺麗之學問，欲探知宇宙之祕密者，未可忽視也。

今拙譯 Grimsehl 光學一書，乃引導讀者走向此路之一部基本讀物。其特點已由 Tomaschek 在其序文中特別指出；此實為避免讀者對於光學乏味之一捷徑也。至於本書取材，理論與事實兼顧，敘述深刻而精微，則為德人著書之一貫作風，幸讀者再三留意焉。

此外譯者並補充許多註解或演算，以助讀者研究之興趣。

本書譯名蒙楊寄凡先生多所提示，特此誌謝。又承許驥先生補譯本書習題及註脚等，使本書得早日付印，亦深感謝。

一九四八年九月，江灣。

光 學 目 錄

德文再版序	3
中文再版序	3
譯者序言	4
第一章 光之傳播	11
1.1 光之傳播之普遍情態	11
1.2 光源之位置	15
1.3 光之反射	16
1.4 光之傳播	19
1.5 影 蝕	20
1.6 光之衍射	21
第二章 光之強度	34
2.1 基本觀念	34
2.2 光度學	39
2.3 光由源發出後之分佈	43
2.4 光之功當量	45
第三章 幾何光學 反射與折射	48
3.1 幾何光學之原理	48
3.2 平面鏡	48

3.3 曲面鏡.....	53
3.4 光闌.....	65
3.5 光之折射.....	67
3.6 在有平面界之固體中折射定律之應用.....	77
第四章 幾何光學 透鏡.....	82
4.1 會聚(凸)透鏡之折射.....	82
4.2 發散(凹)透鏡.....	92
4.3 圓球面對於其軸上一點所造成之像.....	94
4.4 圓球面對於近軸之物所造成之像.....	97
4.5 圓球面之同軸組所造成之像.....	101
4.6 厚度有限之透鏡(厚透鏡)所造成之像.....	105
4.7 一厚透鏡對於直立於其軸上之物所造成之像.....	117
第五章 幾何光學 像差.....	119
5.1 像差.....	119
5.2 像散性.....	121
5.3 正弦條件.....	123
5.4 畸變隨光闌位移而生之變化.....	126
5.5 由光之波動理論之觀點審視折射現象.....	133
第六章 幾何光學 應用.....	143
6.1 凸透鏡之幾種應用.....	143
6.2 人眼.....	147
6.3 調節 眼鏡.....	152
6.4 視角.....	157
6.5 手執鏡或放大鏡.....	158

6.6 望遠鏡.....	162
6.7 顯微鏡.....	175
6.8 複物鏡及複目場鏡.....	178
6.9 衍射對於成像之效應.....	182

第七章 波長對於折射現象之影響.....189

7.1 白光之分解.....	189
7.2 色混合 互補色.....	193
7.3 光譜之分析.....	197
7.4 紫外光與紅外光.....	201
7.5 色散之測定.....	204
7.6 消色差之稜鏡與透鏡.....	206
7.7 反常色散.....	209

第八章 光波之干涉.....216

8.1 Fresnel 之干涉實驗.....	216
8.2 薄膜之顏色.....	220
8.3 同厚度之曲線.....	228
8.4 同傾角之曲線.....	231
8.5 兩板間之參合現象.....	233
8.6 Michelson 參合計.....	237
8.7 干涉量度學.....	242
8.8 由平行射線之衍射所生之平行射線之干涉.....	247
8.9 衍射柵.....	254

第九章 光之速度.....262

9.1 確定光速之各種方法.....	262
--------------------	-----

9.2 在物質的介質中光之速度	267
-----------------	-----

9.3 Fermat 原理	270
---------------	-----

第十章 光之偏振化 272

10.1 反射所生之偏振化	272
---------------	-----

10.2 折射所生之偏振化	278
---------------	-----

10.3 與衍射聯生之偏振化	280
----------------	-----

10.4 雙折射	281
----------	-----

10.5 偏振化光之干涉現象	290
----------------	-----

10.6 會聚偏振化光 應變所生之雙折射	293
----------------------	-----

10.7 偏振平面之旋轉(光學活動性)	297
---------------------	-----

10.8 橢圓偏振化光與圓形偏振化光之產生	301
-----------------------	-----

10.9 偏振面旋轉之說明	303
---------------	-----

10.10 電場與磁場對於光之傳播之效應	306
----------------------	-----

第十一章 大氣中之光學現象 310

11.1 大氣折射	310
-----------	-----

11.2 尋常漫射日光	312
-------------	-----

11.3 日球與月球之冕與暈	313
----------------	-----

11.4 虹霓	315
---------	-----

第十二章 生理光學 320

12.1 視覺程序	320
-----------	-----

12.2 色視覺	321
----------	-----

12.3 光學幻覺	325
-----------	-----

12.4 雙眼視覺	327
-----------	-----

物理光學理論 葉蘊理編著

第一章 干涉現象之理論	333
1.1 兩光源之干涉定律	333
1.2 干涉現象之基本條件	335
1.3 (a) Fresnel 雙稜鏡 (b) Lloyd 鏡	337
1.4 在反射時週相之變更	338
1.5 Michelson 干涉儀之應用	340
1.6 Fabry-Pérot 干涉儀之光強計算	346
1.7 Fabry-Pérot 干涉儀對於光譜學之應用	248
第二章 衍射現象之理論	352
2.1 球波之傳播 Fresnel 理論	352
2.2 筒狀光波之光強	357
2.3 一直邊之衍射現象	359
2.4 Cornu 之螺旋線	360
2.5 一狹縫之衍射現象	364
2.6 平面波通過狹縫之衍射光強	367
2.7 兩平行狹縫之衍射光強	371
2.8 平面光柵	373
2.9 光柵之鑑別本領	377
2.10 望遠鏡之鑑別本領	379
2.11 顯微鏡之鑑別本領	380
第三章 偏振理論	382
3.1 雙折射與偏振現象	382
3.2 在方解石中光之波面	386
3.3 光波在方解石中折射之各特例	388
3.4 偏振光在方解石中之光程差	391

3.5 特殊雙折射稜鏡	392
3.6 偏振光干涉之條件	393
3.7 橢圓偏振光	394
3.8 偏振光之干涉現象	396
3.9 橢圓偏振光之分析	399
3.10 用 Nicol 稜鏡與四分波片分析橢圓光	401
3.11 Babinet 抵消器	402
3.12 旋光現象之定律與理論	404
3.13 Laurent 旋光器	408
第四章 光波在結晶體中傳播之理論	410
4.1 導言	410
4.2 Fresnel 理論	410
4.3 偏振平面波之法速度	414
4.4 波面	415
4.5 波面之主截面	417
4.6 光軸	418
4.7 錐形內折射	420
4.8 錐形外折射	421
4.9 射線與波法線	422
4.10 光軸與偏振面之關係	423
4.11 單軸結晶體	424
4.12 雙折射之電磁理論	425
附表	429
習題	431
習題答案	439
五彩圖版	在第198頁之後

光 學

第 一 章 光之傳播

1.1 光之傳播之普遍情態

引言 在電磁學(史鍾奇譯)一書中,吾人可知光已被認為一種電磁波動,而發源於分子與原子之本身。在本書中,吾人對於光之傳播將作較詳盡之檢討。吾人雖將僅就可見光而言,意即包括於800—400毫微米中之波,但吾人所將說明之關係,大部分均可極準確的應用於紅外光及紫外光之範圍,意即大約在由10微米至100毫微米之波長之間(見史鍾奇譯電磁學,圖17.47),至於短波所呈現之特異點,則一部分由於其高頻率,而一部分由於物質之電性結構。但有許多定律,如其對於可見光有效,則其對於一切電磁波仍為有效。故在必要時,吾人將另加指明此種描述事實之有效範圍。

光源 光子 非偏振光 本身發光之物體(例如恆星,電燈。)謂之發光體⁽¹⁾或光源⁽²⁾。吾人對於光源務必認為包含極多數之發射體⁽³⁾,多少同時的並互相獨立的發出電磁波列。此種任一發射體,吾人可稱為均勻輻射⁽⁴⁾之中心。現在吾人尙不知由單獨中心發出之波列⁽⁵⁾之性質,是否為阻尼式者⁽⁶⁾,果然,則其程度又如何,是否在某定優先方向上(見史鍾奇譯電磁學,圖17.27),又或是否具有同等強度在各方向上輻射(詳閱王福山譯原子物理學)。

茲就本書中所討論各現象所有之各性質中擇其重要者列舉如下,

-
- (1) Luminous body; Corps lumineux. (2) Source of light; Source de lumière.
(3) Emitter; Emetteur. (4) Homogeneous radiation; Rayonnement homogène.
(5) Wave-trains; Train d'ondes. (6) Damped; Amorti.

但不加證實，容俟將來再述。(一)每一波列相守不離；此為相干的⁽¹⁾或連續的⁽²⁾(見史鍾奇譯電磁學第17.4節)，意即各個波動在同一距離相繼追隨並在數米中有正確之週相⁽³⁾。有如在干涉現象⁽⁴⁾中已證明者(見第27頁)，單獨之波列為偏振化的⁽⁵⁾(見史鍾奇譯電磁學第17.3節)。有如吾人在電磁波中已見者，整個波列有同一電矢量⁽⁶⁾振動之平面(在圖1.1a中即為紙面)。磁矢量⁽⁷⁾則在同一平面中垂直於電矢量並垂直於傳播方向。此種單獨波列名曰光子⁽⁸⁾。其長度可達數米。光在真空中傳播之速度既為 $3 \cdot 10^{10}$ 厘米/秒，(見史鍾奇譯電磁學，第5.7節)每一波列(由波列經過某定點認起)大約可持續 10^{-8} 秒。(二)普通一光源所發出極多數波列之偏振化方向及其週相均各有任何變異情形；各個波列為互不相干的⁽⁹⁾。

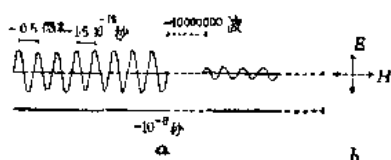


圖1.1a, b 單獨光波列(b圖中之波傳播方向與紙面垂直)。

故尋常非偏振化光⁽¹⁰⁾為此種波動所組成，由光源所發出，在均勻介質中⁽¹¹⁾，例如真空或空氣中，而在各方向上循直線傳播。因此一光源所輻射之光為極多數之閃光所組成；吾人若參閱原子物理學(王福山譯)，可見如何計算其數值。譬如吾人試對準光源之一點而觀之，則吾人之肉眼將不斷的受到各個波列之刺激，每一波列有其週相及偏振化方向，來時極不整齊，一波未平，一波又起，但有時亦有相隔到達者。讀者對於此種可見光輻射之性質必須認清。其他詳情，俟將來再加討論並證明。

在下文中，吾人如遇光源，其線度⁽¹²⁾比其他述及之距離遠小時，往

(1) Coherent; Cohérent. (2) Continuous; Continu. (3) Phase; Phase. (4) Interference phenomena; Phénomènes d'interférence. (5) Polarized; Polarisé. (6) Electric vector; Vecteur électrique. (7) Magnetic vector; Vecteur magnétique. (8) Light quantum; Quantum de lumière. (9) Incoherent; Incohérent. (10) Unpolarized light; Lumière non polarisée. (11) Homogeneous medium; Milieu homogène. (12) Dimension; Dimension.

往可以認為點狀。點狀光源與均勻的輻射中心之區別，在於由前者而來之輻射為極大數而互不相干的波列所組成者。

光射線 現在吾人須談及另一概念，用之可將多數討論簡單化。

光能流動之方向吾人謂之一條光線⁽¹⁾。

根據 Poynting 定理(見史鍾奇譯電磁學第 17.1 節)光線常垂直於電場與磁場強度所成之平面，而為波面⁽²⁾之法線(見許國保譯熱學與聲學，第二編振動與波動第 2.5 節)。在一均勻介質中，光線由一固定源射出時成直線狀(圖 1.2)：意即每個波列為球面波⁽³⁾(或至少球面波之部分)，其中心為光源。

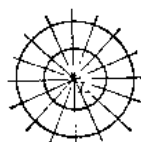


圖 1.2 從一極小光源向各方發出之輻射(波面及射線)。

在尋常言語中，對於有相當粗細之一條光，例如由不透明屏上一小孔

射入之日光，吾人亦名之曰射線⁽⁴⁾(或一光注⁽⁵⁾)。在物理學中，吾人將忽視射線或光注之粗細，意即吾人假定光線具有幾何直線之特性。

聚合而成之平行射線(吾人對之認為占有空間)名曰**平行光束**或**光錐**⁽⁶⁾。由一點射出之大數光線成為**發散光錐**⁽⁷⁾。平行光錐聯有平波面，而發散錐則聯有曲波面。

反射與折射 如光波傳到一物體上(有如任何波動遇到性質相異之介質時)，則一部分反射，一部分進入介質而在其中折射(見許國保譯熱學與聲學，第二編振動與波動第 2.5.5 節)，當光射到物體上時被反射，乃可使人看見。此種物體名曰**非自發光的**⁽⁸⁾，以與**自發光的**⁽⁹⁾相對立。在此兩者之中有一重要區別。吾人如向一占據空間之光源看去，例如電燈之燈絲，在某定時由燈絲上兩異點到達目中之波列為**不相干**

(1) Ray of light; Rayon lumineux. (2) Wave surface; Surface d'onde. (3) Spherical wave; Onde sphérique. (4) Ray; Rayon. (5) Beam; Faisceau. (6) Bundle or pencil of parallel rays; Paquet ou pinceau de rayons parallèles. (7) Divergent pencil of rays; Pinceau de rayons divergent. (8) Non-self-luminous body; Corps non lumineux en soi. (9) Self luminous body; Corps lumineux en soi.

的，意即其週相及偏振化方向大不相同，但吾人如利用日光而看斷電之燈絲，則由上述相同部分所傳到目中之波列均為相干者，因在任何時間來到之光為同一波反射之部分，此波係來自光源而在燈絲上反射者。

未經反射之一部分光則進入物體中，有者通過，有者被吸收，意即其能量變為另一種形式，普通變為熱。能讓光通過之物體，名曰透明者⁽¹⁾，或半透明者⁽²⁾；不讓光通過者，名曰不透明者。

透明體與不透明體本無一定界限，日常認為透明之清水，在厚層時則為不透明者（在洋底完全黑暗）。在別方面，不透明體如其為薄層，亦有讓光通過之可能（極薄金葉透視時呈綠色，銀葉呈藍色。），在普通情形中，光一部分被物體所反射，一部分透過，而一部分則被吸收。一物體在實際上吸收全部光時為不透明而在反射方面則呈黑色。進入一物體之光全部被吸收時名曰完全黑體⁽³⁾：此種物體，事實上並不存在，“完全黑體”實為一理想概念。若吾人說及不透明體時，吾人之意即該物體能讓光通過之量極少，以致視覺及用其他方法均不能發覺之。吾人務必再限制透明性之觀念（即對於任何電磁波皆透明之廣義），鑒於事實上，一物體對於一種波長或為透明，而對於其他則或為不透明，例如普通窗玻璃不透過日光中有益衛生之紫外射線⁽⁴⁾，故對於該射線為不透明者（第201頁）。在別方面，黑紙透過紅外射線⁽⁵⁾（第203頁）。肉體之組織太厚時為不透明，但對於X射線則又為透明。但是，甚至在可見光中此種同樣現象亦有發生之可能。一物體或對於綠光為透明而對於紅光則或為不透明者，是為有色體⁽⁶⁾。此類特例，俟將來再行討論（第195頁）。

白光與有色光 由一光源而來之輻射，如其可見光中所含之各頻率⁽⁷⁾之分光有大約相等之強度，意即每一單獨頻率之光所含之波列之數目在平均上皆相等，則表面上似乎為白光。

(1) Transparent 或 translucent; Transparent 或 translucide. (2) Opaque; Opaque. (3) Perfectly black body; Corps noir parfait. (4) Ultra-violet rays; Rayons ultra-violet. (5) Infra-red rays; Rayons infra-rouge. (6) Coloured body; Corps coloré. (7) Frequency; Fréquence.

一光源所發出之頻率之全部，名曰光源之光譜⁽¹⁾。

若光譜中缺少某部分，意即在輻射中如缺少某定範圍之頻率之波列或僅占有少量，則輻射之色彩⁽²⁾有變異；而色彩愈深，意即白的部分愈少，則光譜中所缺少之範圍愈廣大。僅有某定單獨波長之輻射名曰單色輻射⁽³⁾，吾人對之有純淨顏色之感，每一顏色之相當波長，可參閱電磁學(史鍾奇譯)第 17.4 節。關於此諸點之實驗，將在第 7.1 節中討論。

1.2 光源之位置

若吾人取一不透明體放在一光源與眼睛之間，當光源、不透明體、及眼睛均在同一直線上時，則吾人將不復見光源。由此事實(在尋常情形中)可見光循直線傳播。既知光線之路徑為直線，吾人可確定光源或被照明體所在之方向。由於心理作用之故，吾人常在光射線進入眼睛之相反方向上窺視光之出發點；但是，用一隻眼睛由唯一點看一光源時，吾人不能說明該光源對於眼睛之距離為若干。

假定一光源 L 發射光線(圖 1.3)，其中兩線由 LC_1 與 LC_2 表示；如吾人之眼在 C_1 ，吾人僅能說光源占在 C_1L 之方向上。此是否在 M_1 或 L 或 N_1 ，則吾人不能說明。同樣，如眼在 C_2 ，吾人僅能說光源在 C_2L 之方向上。若吾人單用此眼，則吾人說光源在 M_2 或 N_2 均有可能。

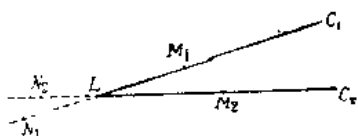


圖 1.3 光源位置之決定。

但是，今如吾人用雙眼同時看去，意即一眼循 C_1L 而另眼循 C_2L ，或迅速的依次由 C_1 與 C_2 看去，則吾人可求得 L 之距離，其位置由兩射線之交點所確定。角度 C_1LC_2 愈接近直角，則 L 之位置愈能準確的確定。故為準確估計一遠離目標之距離，吾人可從兩互相遠離點觀察之，並須迅速的相繼由一點移至他點。對於附近之目標，僅須用雙眼同

(1) Spectrum; Spectre. (2) Tint; Tint. (3) Monochromatic radiation; Rayonnement monochromatique.

時觀察。

在一室之中心，由天花板上懸一圓，使其平面經過吾人雙眼之一，而合閉其
他一眼以接近此圓。於是吾人若欲投一筆而入此圓時頗感棘手，須經多次試驗
方可告成。反之，如其他一眼亦張開，則吾人必屢試屢中。此因在第一情形中，一
隻眼睛僅指示吾人唯一方向；在第二情形中雙眼指示吾人兩個方向，因此易得
其交點。

若吾人對於一光源發出之射線實走路徑，除上述者外不知其他，則
當射線因任何理由不按直線行走時，吾人對於光源之方向與距離如何，
亦將迷誤。

例如由 L (圖 1.4) 出發之光
線在 A_1 與 A_2 發生曲折，而循由
 A_1 至 C_1 與由 A_2 至 C_2 之直線行
走，觀察者之眼睛由 C_1 與 C_2 循
此兩射線之相反方向看去，意即

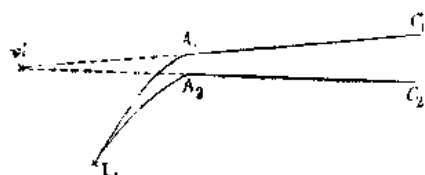


圖 1.4 光源之虛像。

看到 vI ，因此光源似乎在 vI 。在此例中，吾人謂 vI 為源 L 之虛像⁽¹⁾。

如由 L 出發之光線在 A_1
與 A_2 發生曲折(圖 1.5)，而在
未到達眼睛以前在 rI 相交再行
前進至 C_1 與 C_2 ，在 C_1 與 C_2 之
眼睛看到源在 rI ：為射線 A_1C_1
與 A_2C_2 之相交點；光源似乎占
據此點。在此例中吾人謂 rI 為
源 L 之實像⁽²⁾。

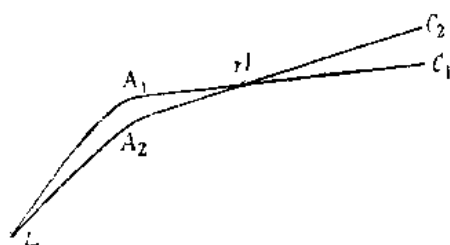


圖 1.5 光源之實像。

虛像為射線之延長線之相交點，實像為射線本身之相交點。

1.3 光之反射

如一物體可由各方面看到，此物必在各方向上發射光線。日光照到

(1) Virtual image; Image virtuelle. (2) Real image; Image réelle.